

10/551842

DOCKET NO.: 279167US2PCT

JC20 Rec'd PCT/PTO 03 OCT 2005

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Atsushi YAMAGISHI

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HEREWITH

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/JP04/04861

INTERNATIONAL FILING DATE: April 2, 2004

FOR: CARIOUS TOOTH DETECTION DEVICE

REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION

Commissioner for Patents
Alexandria, Virginia 22313

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

COUNTRY
Japan

APPLICATION NO
2003-099917

DAY/MONTH/YEAR
03 April 2003

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. PCT/JP04/04861. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak
Attorney of Record
Registration No. 24,913
Surinder Sachar
Registration No. 34,423

Customer Number

22850

(703) 413-3000
Fax No. (703) 413-2220
(OSMMN 08/03)

02. 4. 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

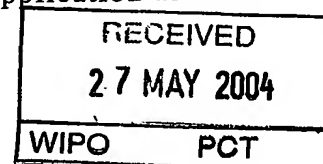
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 4 月 3 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 0 9 9 9 1 7
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 0 9 9 9 1 7]

出 願 人 花王株式会社
Applicant(s):

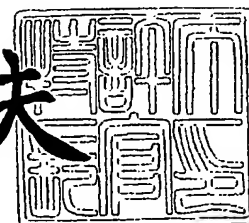


PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 5 月 1 3 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 P03063

【提出日】 平成15年 4月 3日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 A61B 1/04

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都墨田区文花 2 - 1 - 3 花王株式会社研究所内

 【氏名】 山岸 敦

【特許出願人】

 【識別番号】 000000918

 【氏名又は名称】 花王株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100076532

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 羽鳥 修

【選任した代理人】

 【識別番号】 100101292

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 松嶋 善之

【選任した代理人】

 【識別番号】 100107205

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 前田 秀一

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 013398

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9902363

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 虫歯検出装置及び虫歯検出方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 紫外線光源と、該紫外線光源から照射された紫外線により歯からの蛍光を受光する蛍光受光部と、該蛍光受光部から送信された蛍光データを解析する蛍光データ解析部と、該蛍光データ解析部により解析されたデータを表示するデータ表示部とを備えた虫歯検出装置であって、

前記蛍光データ解析部は、前記蛍光データを可視光領域の 2 以上の波長帯における蛍光強度に基づいて解析をする虫歯検出装置。

【請求項 2】 紫外線光源と、該紫外線光源から照射された紫外線により歯からの蛍光を受光する蛍光受光部と、該蛍光受光部から送信された蛍光データを解析する蛍光データ解析部と、該蛍光データ解析部により解析されたデータを表示するデータ表示部とを備えた虫歯検出装置であって、

前記蛍光データ解析部は、前記紫外線の照射光強度の変化に応じて変化する 1 つ以上の波長帯における複数の蛍光強度に基づいて解析をする虫歯検出装置。

【請求項 3】 前記蛍光データ解析部は、550～810 nm の第 1 波長帯における前記蛍光強度と、380～550 nm の第 2 波長帯における前記蛍光強度とに基づいて虫歯の進行度合を演算する請求項 1 又は 2 に記載の虫歯検出装置。

【請求項 4】 前記蛍光データ解析部は、550～810 nm の第 1 波長帯における前記蛍光強度と、380～550 nm の第 2 波長帯における前記蛍光強度及び／又は 450～650 nm の波長帯から選ばれる波長帯である第 3 波長帯における前記蛍光強度とに基づいて虫歯の進行度合を演算する請求項 1 又は 2 に記載の虫歯検出装置。

【請求項 5】 前記蛍光受光部には、前記可視光領域から前記第 1 波長帯及び前記第 2 及び／又は第 3 波長帯における前記蛍光強度に関する情報を抽出可能な光デバイスが設けられている請求項 1 乃至 4 の何れかに記載の虫歯検出装置。

【請求項 6】 前記光デバイスは、分光輝度計、カラー CCD、CMOS、又は 2 色以上の色フィルター付き光センサの何れか一つである請求項 5 に記載の

虫歯検出装置。

【請求項 7】 前記紫外線光源は、出力強度が調整可能に構成されている請求項 5 又は 6 に記載の虫歯検出装置。

【請求項 8】 前記紫外線光源は、紫外線 LED である請求項 7 に記載の虫歯検出装置。

【請求項 9】 光源から紫外線を歯の測定部位に照射し、該測定部位からの蛍光によって虫歯を検出する方法であって、

前記測定部位からの蛍光情報を取り込む第 1 ステップと、

前記取り込んだ蛍光情報を 550～810 nm の第 1 波長帯、380～550 nm の第 2 波長帯及び 450～650 nm の第 3 波長帯から選ばれる 2 つ以上の波長帯における前記蛍光の強度を求める第 2 ステップと、

前記蛍光の強度に基づいて演算し、前記演算結果に応じて虫歯の有無及び／又は虫歯の進行度合を判断する第 3 ステップとを含む虫歯検出方法。

【請求項 10】 前記第 3 ステップには、前記第 1 波長帯の蛍光の強度 R と、前記第 2 波長帯 G 又は前記第 3 波長帯の蛍光の強度 B とを対象とし、次の式（1）あるいは（2）に従って虫歯度合 CD_1 を演算する第 3. 1 ステップと、

$$CD_1 = R / B \quad \cdots \text{式 (1)}$$

あるいは $CD_1 = R / G \quad \cdots \text{式 (2)}$

前記虫歯度合 CD_1 の値と下限しきい値 E_1 とを比較する第 3. 2 ステップと、

前記虫歯度合 CD_1 の値が、前記下限しきい値 E_1 より大きい場合には虫歯であると判断し、前記虫歯度合 CD_1 の値が、前記下限しきい値 E_1 より小さい又は前記下限しきい値 E_1 と等しい場合には健常な歯であると判断する第 3. 3 ステップとを含む請求項 9 に記載の虫歯検出方法。

【請求項 11】 前記第 3. 3 ステップに虫歯であると判断された場合において、前記虫歯度合 CD_1 の値と上限しきい値 F_1 とを比較する第 3. 4 ステップと、

前記虫歯度合 CD_1 の値が、前記上限しきい値 F_1 より大きい場合には重度の虫歯であると判断し、前記虫歯度合 CD_1 の値が、前記上限しきい値 F_1 より小さい又は前記上限しきい値 F_1 と等しい場合には軽度の虫歯であると判断する第 3.

5ステップとを含む請求項10に記載の虫歯検出方法。

【請求項12】 光源から紫外線を歯の測定部位に照射し、該測定部位からの蛍光によって虫歯を検出する方法であって、前記測定部位の数が2つの場合には、前記測定部位の蛍光をそれぞれ第1情報及び第2情報として取り込む第1ステップと、

前記第1、第2情報に基づきそれぞれ、550～810nmの第1波長帯、380～550nmの第2波長帯及び450～650nmの第3波長帯から選ばれる2以上の波長帯における前記蛍光の強度を求める第2ステップと、

前記蛍光強度に基づき、次の式(3)あるいは(4)に従って虫歯度合 CD_2 を演算する第3ステップと、

$$CD_2 = |R_n - R_c| \times |B_n - B_c| \quad \cdots \text{式(3)} \quad \text{あるいは}$$

$$CD_2 = |R_n - R_c| \times |G_n - G_c| \quad \cdots \text{式(4)}$$

R_n — 第1情報の第1波長帯の蛍光の強度

G_n — 第1情報の第2波長帯の蛍光の強度

B_n — 第1情報の第3波長帯の蛍光の強度

R_c — 第2情報の第1波長帯の蛍光の強度

G_c — 第2情報の第2波長帯の蛍光の強度

B_c — 第2情報の第3波長帯の蛍光の強度

前記虫歯度合 CD_2 の値と下限しきい値 E_2 とを比較する第4ステップと、

前記虫歯度合 CD_2 の値が、前記下限しきい値 E_2 より大きい場合には虫歯であると判断し、前記虫歯度合 CD_2 の値が、前記下限しきい値 E_2 より小さい又は前記下限しきい値 E_2 と等しい場合には健常な歯であると判断する第5ステップとを含む虫歯検出方法。

【請求項13】 前記第5ステップに虫歯であると判断された場合において、前記虫歯度合 CD_2 の値と上限しきい値 F_2 とを比較する第5.1ステップと、

前記虫歯度合 CD_2 の値が、前記上限しきい値 F_2 より大きい場合には重度の虫歯であると判断し、前記虫歯度合 CD_2 の値が、前記上限しきい値 F_2 より小さい又は前記上限しきい値 F_2 と等しい場合には軽度の虫歯であると判断する第5.2ステップとを含む請求項12に記載の虫歯検出方法。

【請求項 14】 光源から紫外線を歯の測定部位に照射し、該測定部位からの蛍光によって虫歯を検出する方法であって、異なる 2 以上の光強度 U_1 、 U_2 … U_n ($U_1 > U_2 > \dots > U_n$) につき前記測定部位の蛍光をそれぞれ第 1 情報、第 2 情報…第 n 情報として取り込む第 1 ステップと、

第 1 情報、第 2 情報…第 n 情報を、550～810 nm の第 1 波長帯、380～550 nm の第 2 波長帯及び 450～650 nm の第 3 波長帯から選ばれる 2 以上の波長帯における前記蛍光の第 1 蛍光強度 R_1 、 B_1 、 G_1 及び第 2 蛍光強度 R_2 、 B_2 、 G_2 …第 n 蛍光強度 R_n 、 B_n 、 G_n を求める第 2 ステップと、

下記の式 (5) に従い演算する第 3 ステップと、

$$(R_1 - R_2) + (R_2 - R_3) + \dots + (R_{n-1} - R_n) \quad \dots \text{式 (5)}$$

式 (5) から得られる結果の符号が正であれば虫歯であると判断し、負もしくは 0 であれば健全な歯であると判断する第 4 ステップを含む虫歯検出方法。

【請求項 15】 前記第 4 ステップに虫歯の可能性があると判断された場合において、次の式 (6) に従って虫歯度合 CD_3 を演算する第 4. 1 ステップと

$$CD_3 = (R_{n-1} / R_n) \times (B_{n-1} / B_n) \quad \dots \text{式 (6)}$$

前記虫歯度合 CD_3 の値と上限しきい値 F_3 とを比較する第 4. 2 ステップと、

前記虫歯度合 CD_3 の値が、前記上限しきい値 F_3 より大きい又は前記上限しきい値 F_3 と等しい場合には健全な歯であると判断し、前記虫歯度合 CD_3 の値が、前記上限しきい値 F_3 より小さい場合には虫歯であると判断する第 4. 3 ステップとを含む請求項 14 に記載の虫歯検出方法。

【請求項 16】 前記第 4. 3 ステップに虫歯であると判断された場合において、前記虫歯度合 CD_3 の値と下限しきい値 E_3 とを比較する第 4. 4 ステップと、

前記虫歯度合 CD_3 の値が、前記下限しきい値 E_3 より大きい又は前記下限しきい値 E_3 と等しい場合には軽度の虫歯であると判断し、前記虫歯度合 CD_3 の値が、前記下限しきい値 E_3 より小さい場合には重度の虫歯であると判断する第 4.

5 ステップとを含む請求項 15 に記載の虫歯検出方法。

【請求項 17】 前記第 4 ステップに虫歯の可能性があると判断された場合

において、次の式(7)に従って虫歯度合 CD_4 を演算する第4.1ステップと

$$CD_4 = (R_{n-1}/R_n) \times (G_{n-1}/G_n) \quad \cdots \text{式(7)}$$

前記虫歯度合 CD_4 値と上限しきい値 F_4 とを比較する第4.2ステップと、

前記虫歯度合 CD_4 の値が、前記上限しきい値 F_4 より大きい又は前記上限しきい値 F_4 と等しい場合には健常な歯であると判断し、前記虫歯度合 CD_4 の値が、前記上限しきい値 F_4 より小さい場合には虫歯であると判断する第4.3ステップとを含む請求項14に記載の虫歯検出方法。

【請求項18】 前記第4.3ステップに虫歯であると判断された場合において、前記虫歯度合 CD_4 の値と下限しきい値 E_4 とを比較する第4.4ステップと、

前記虫歯度合 CD_4 の値が、前記下限しきい値 E_4 より大きい又は前記下限しきい値 E_4 と等しい場合には軽度の虫歯であると判断し、前記虫歯度合 CD_4 の値が、前記下限しきい値 E_4 より小さい場合には重度の虫歯であると判断する第4.5ステップとを含む請求項17に記載の虫歯検出方法。

【請求項19】 前記第4ステップに虫歯の可能性があると判断された場合において、次の式(8)に従って虫歯度合 CD_4 を演算する第4.1ステップと

$$CD_5 = (R_{n-1}/R_n) \times \{ (G_{n-1}/G_n) + (B_{n-1}/B_n) \} \quad \cdots \text{式(8)}$$

前記虫歯度合 CD_5 値と上限しきい値 F_5 とを比較する第4.2ステップと、

前記虫歯度合 CD_5 の値が、前記上限しきい値 F_5 より大きい又は前記上限しきい値 F_5 に等しい場合には健常の歯であると判断し、前記虫歯度合 CD_5 の値が、前記上限しきい値 F_5 より小さい場合には虫歯であると判断する第4.3ステップとを含む請求項14に記載の虫歯検出方法。

【請求項20】 前記第4.3ステップに虫歯であると判断された場合において、前記虫歯度合 CD_5 の値と下限しきい値 E_5 とを比較する第4.4ステップと、

前記虫歯度合 CD_5 の値が、前記下限しきい値 E_5 より大きい又は前記下限しき

い値 E_5 に等しい場合には軽度の虫歯であると判断し、前記虫歯度合 CD_5 の値が、前記下限しきい値 E_5 より小さい場合には重度の虫歯であると判断する第 4.

5 ステップとを含む請求項 19 に記載の虫歯検出方法。

【請求項 21】 前記 n が 2 である請求項 14 乃至 20 のいずれか一つに記載の虫歯検出方法。

【請求項 22】 前記請求項 9 乃至 20 の何れかに記載の虫歯検出方法をコンピュータに実現させる虫歯検出プログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、虫歯を検出する技術に関し、特に、歯からの蛍光情報に基づいて非破壊的に初期段階の虫歯を検出する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

光を用いて虫歯を検出する従来技術として、特許文献 1 に記載された装置がある。かかる装置は、赤色光 (600~670 nm) を励起光として歯に照射し、その歯からの蛍光をフォトダイオードにより受光した光の強度のみを測定するものである。また、前記装置は口腔内細菌由来の蛍光により虫歯を検出するものであるため、虫歯が進行し歯に穴が開いてしまい、その中に細菌が繁殖しているような場合には虫歯の検出が可能である。

【0003】

しかしながら、初期虫歯の進行度合いは、必ずしも細菌の存在及びその量とは相関していない。特に初期虫歯の場合は、該当箇所に口腔用組成物内細菌が検出されないことがむしろ多いため、前記特許文献 1 に記載の装置でかかる初期虫歯を検出することは困難である。すなわち、このような蛍光情報によって解析した結果は、口腔内細菌の有無等によって左右されるため、初期虫歯の有無を正確に判断することが困難である。

【0004】

上記特許文献 1 の問題を解決すべく、非特許文献 1、2 に記載された QLF (

quantitative light-induced fluorescence) 方法及びこの方法を実現させた装置が開発されている。この装置は、 $380 \pm 70 \text{ nm}$ の紫外線で照射し、得られた 520 nm 以上の蛍光の強さのみ検出するものであり、虫歯部位からの蛍光強度が歯の健全部位からの蛍光強度に比較して弱くなるという現象を利用して虫歯を検出するものである。この場合の虫歯検出は、細菌の存在に影響を受けないため、特許文献1に開示の装置と比較して虫歯の有無の検出をより正確にできるようになっている。しかし、後述の比較例2に示すとおり、実際のミネラル減少率の変化と上記 520 nm 以上蛍光強度の変化とは一致しないため、初期虫歯の進行度合を計測することは困難である。

【0005】

さらに、虫歯を検出する装置として、 $360 \sim 580 \text{ nm}$ の紫外線を歯に照射し、歯からの 620 nm 以上の蛍光を測定する装置がある（特許文献2）。この装置は虫歯部位に特異的な赤色蛍光のみを測定対象とするものであり、特許文献1のように、口腔内細菌まで検出してしまうことはない。しかし、特許文献2に記載の装置は、蛍光強度の弱い赤色蛍光のみを測定対象とするため、虫歯の有無を検出するのに蛍光強度が不十分で外光などの計測環境の影響を受けやすく検出感度が低くなるという問題がある。

【0006】

他方、虫歯の進行度合いを正確に検出し定量できる技術として、非特許文献3に記載された技術がある。この技術は、抜去した虫歯をスライスし、その断面をマイクロX線写真で撮影し、前記写真における情報に基づいて、健全歯と比較しつつ、ミネラル減少率を算出し、虫歯の進行状況を定量するものである。かかる方法は、確実に虫歯の進行状況を確認することが可能であるが、歯を抜去およびスライスしなければ、測定することができないという問題がある。

【0007】

【特許文献1】

特開平2001-299699号公報

【特許文献2】

欧州特許出願公開第0555645号明細書

【非特許文献 1】

Stookey, G.K., et al. Dental caries diagnosis, Dent Clin North Am., 43:665-77, 1999.

【非特許文献 2】

Shi X.Q, et al. Comparison of QLF and DIAGNOdent for quantification of smooth surface caries, Caries Res., 35(1):21-6, 2001.

【非特許文献 3】

好川正ら, 「エナメル質の脱灰におよぼす 0.1 M 乳酸の pH ならびに作用時間の影響」, 口腔衛生学会雑誌, 1990, 第 40 巻, p. 671 ~ 677

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、初期虫歯を感度良くかつ正確に検出し、虫歯の進行度合をも検出できる虫歯検出装置、虫歯検出方法及び前記検出方法を実現させるためのプログラムを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明者等は、歯に紫外光（水銀ランプの i 線 365 nm）を照射した場合、健全歯については、400 ~ 500 nm 付近（青色相当）に強い蛍光が生じるのに対し、虫歯については、400 ~ 500 nm 付近の蛍光が弱くなり、その一方で、600 ~ 800 nm 付近（赤色相当）に蛍光が生じることを知見した。

【0010】

また、本発明者等は、紫外光の照射光強度を減少させた場合、虫歯については、青色相当及び赤色相当の蛍光が弱くなるのに対し、健全歯については、青色相当の蛍光が弱くなるものの、赤色相当の蛍光が強くなることを知見した。

【0011】

本発明は、上記知見に基づいてなされたものであり、紫外線光源と、該紫外線光源から照射された紫外線により歯からの蛍光を受光する蛍光受光部と、該蛍光受光部から送信された蛍光データを解析する蛍光データ解析部と、該蛍光データ解析部により解析された解析データを表示する解析データ表示部とを備えた虫歯

検出装置であって、前記蛍光データ解析部は、前記蛍光データを可視光領域の 2 以上の波長帯における蛍光強度に基づいて解析をする虫歯検出装置である。

【0 0 1 2】

本発明に係る検出装置を用いることにより、初期虫歯を感度よく検出することが出来るため、初期虫歯を削らずに非外科的な処置による治療がよりしやすくなる。さらに、本発明に係る虫歯検出装置は、虫歯の進行度合いも計測することができる。前記初期虫歯の治療経過の観察が可能になり、その回復の度合いの確認ができるため、患者に虫歯の進行状況や回復状況を具体的に示すことができる。さらに、虫歯予防処置の重要性や処置の効果に関する理解を得ることができ、口腔の健康の維持向上に貢献することが可能になる。

【0 0 1 3】

本発明に係る虫歯検出装置により、歯の表面を計測することによって、虫歯を精度良く検出できるのみならず、歯の隙間等のような計測が困難な部位や（1 カ所で計測）、歯の健常部位と虫歯部位との対比測定（2 カ所で計測）をも行うことが可能である。また、これらの蛍光データを可視光領域の 2 以上の波長帯における蛍光強度に基づいて解析をすることにより、虫歯（特に初期虫歯）とその進行度合いを感度良く正確に検出することができる。

【0 0 1 4】

また、本発明に係る虫歯検出装置により、紫外線の照射光強度の変化に伴って変化する歯からの蛍光データの中から、虫歯と健常歯とで異なる変化を示す波長帯を選択し、その波長帯における複数の蛍光強度に基づいて解析することができ、それによって虫歯（特に初期虫歯）とその進行度合いを感度良く正確に検出することができる。

【0 0 1 5】

本出願において、「第 1 波長帯」とは、赤色相当の波長のみならず、緑色相当の波長まで含めた、5 5 0 ～ 8 1 0 n m の波長帯から選ばれる任意の波長幅を有する波長帯を意味する。「第 2 波長帯」とは、青色相当の波長のみならず、緑色相当の波長まで含めた、3 8 0 ～ 5 0 0 n m の波長帯から選ばれる任意の波長幅を有する波長帯を意味する。「第 3 波長帯」とは、緑色相当の波長のみならず、

赤色相当の波長及び青色相当の波長まで含めた、450～650 nmの波長帯から選ばれる任意の波長幅を有する波長帯を意味する。

【0016】

第1波長帯の波長幅は0.1 nm以上260 nm以下であって、好ましくは50 nm以上260 nm以下である。第2波長帯の波長幅は0.1 nm以上270 nm以下であって、好ましくは50 nm以上270 nm以下である。第3波長帯の波長幅は0.1 nm以上200 nm以下であって、好ましくは50 nm以上200 nm以下である。

【0017】

また、バンドパスフィルタを使用して蛍光データを複数の波長帯に分割する場合は、そのフィルタの性能により、波長帯に含む波長の数値範囲が変化する。たとえば、すでにバンドパスフィルタが素子に組み込まれている原色カラーCCDを用いた場合に、第1波長帯（赤色相当）は、中心波長が 650 ± 50 で、第2波長帯（青色相当）は、中心波長が 450 ± 50 で、第3波長帯（緑色相当）は、中心波長が 550 ± 50 が代表的であるが、これらの波長には限定されず、フィルタの特性により、前記各波長帯は、相互に波長の範囲が重なる場合も含む。さらに、図1（フィルタ特性）に示すフィルタの場合は、赤色の波長帯は、350～450及び550～750であり、これらも本願の第1波長帯に含むものとする。

【0018】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の虫歯検出装置及び虫歯検出方法並びに虫歯検出プログラムの好ましい実施形態について図面を参照して説明する。

図2に示すように、本実施形態の虫歯検出システム（虫歯検出装置）1は、紫外線照射装置（紫外線光源）2と、紫外線照射装置2から照射された紫外線により歯からの蛍光を受光する蛍光受光装置（蛍光受光部）3と、蛍光受光装置3から送信されたデータを解析するデータ解析部4と、データ解析部4により解析された解析データを表示する表示装置（解析データ表示部）5とを備えている。

【0019】

データ解析部 4 は、蛍光データを可視光領域の 2 以上の波長帯に分割し、それぞれの波長帯における蛍光強度に基づいて解析ができるように構成されている。

まず、かかる虫歯検出システム 1 を詳細に述べる。

【0020】

虫歯検出システム 1 は、このシステム全体を統括的に制御する主制御部 10 (詳細後述) を有する。この主制御部 10 には、入出力制御部 11 を介して、紫外線照射装置 2、及び蛍光受光装置 3 が接続されていると共に、記憶装置 12、表示装置 5、及び出力装置 13 が接続されている。

【0021】

紫外線照射装置 2 は、波長が 300 ~ 400 nm 程度の紫外線を照射するもので、照射光強度が調整可能に構成されていればよい。このような紫外線照射装置 2 には、例えば、紫外線 LED、水銀ランプ、メタルハライドランプ等がある。

紫外線 LED は、紫外線の照射光強度が調整されるように構成されている。例えば、通電量に関して入出力制御部 11 で制御する、もしくは複数の LED の点灯個数を変えることにより、光の強度調整を行う。

【0022】

水銀ランプ又はメタルハライドランプは、照射光が可視光カットフィルタを通過して紫外光になり、その紫外光の強度が調整できるようになっている。強度調整は例えば電流値の制御や ND フィルタを用いることにより行う。

そして、このような紫外線照射装置 2 から紫外線を導光するものとしては、紫外線吸収率が低いものであれば特に限定はないが、例えば石英ガラスや高分子材料からなるコアを有する光ファイバを通して歯に直接照射されるようになっている。

【0023】

蛍光受光装置 3 は、紫外線の照射により歯からの蛍光が、紫外線カットフィルタ 14 を通過することにより紫外線領域の光が吸収され、可視光領域の光のみが、光ファイバを通して光デバイスに受光されるように構成されている。

光デバイスは、可視光領域の蛍光から、色情報を含んだ情報を蛍光データとして取り込み、その情報を入出力制御部 11 に送信可能なものであればよい。入出

力制御部 11 は、光デバイスからの情報を A/D 変換するように構成されている。

【0024】

上述の光デバイスには、例えば、分光輝度計、カラー CCD、CMOS、又は 2 色以上の色フィルター付き光センサ等がある。

具体的には、分光輝度計は、蛍光をプリズム等により色分解し、各色光（赤色光、緑色光、青色光等）を光センサに取り込むことにより、各色毎の情報を得るように構成されている。

【0025】

また、カラー CCD は、色フィルタ（原色 RGB、補色 CMY）を有する 2 次元配列された素子で受光し、それぞれの素子からの電気信号に基づいて色情報を得るように構成されている。

さらに、2 色以上の色フィルター（バンドパスフィルター）付き光センサは、蛍光の特定波長のみを、例えば、フォトマルやシリコンフォトダイオードのような受光素子からの電気信号に基づいて各波長帯毎の情報を得るように構成されている。

【0026】

記憶装置は、データ解析部 4 により解析された解析データを保存できるものであればよく、例えば、ハードディスク、フレキシブルディスク、光ディスク等がある。

【0027】

表示装置 5 は、上記解析データや解析データの選択（測定部位の数、光強度の変化）に必要な情報を表示できるものであればよく、例えば、CRT ディスプレイ、液晶ディスプレイ等がある。

出力装置 13 は、上記解析データを出力できるものであればよく、例えば、プリンタ等がある。

【0028】

主制御部 10 は、CPU 15、内部メモリ 16、蛍光データ解析部 4 等を有する。CPU 15 は、OS (Operating System) 等の制御プログラムや虫歯検出プログラムからの命令を解釈して実行するように構成されている。内部メモリ 16 は

、入出力制御部 11 からの情報や、記憶装置 12 からの解析データを一時的に保存するものである。

蛍光データ解析部 4 は、虫歯検出プログラムが CPU 15 により実行されることにより、虫歯検出プログラムと、CPU 15、メインメモリ等のハードウェア資源（コンピュータ）とが協働した手段として構成されている。

【0029】

そして、虫歯検出プログラムは、CPU 15 に実現させる機能として、測定部位数選択機能、光強度変化機能、データ取込機能、波長帯選択機能、虫歯度合演算機能、虫歯有無・進行度合判断機能等を有し、これらの機能により、以下に述べる虫歯検出方法が構築される。

【0030】

次に、本実施形態の虫歯検出方法を、虫歯検出プログラムの諸機能と関連させつつ、図 3～図 9 を参照して説明する。

虫歯検出方法は、メイン処理（S.1～S.3、S.5）を共通にし、検出目的や検出方法の違いにより、単一部位測定方法（S.4、S.11～S.19）、対比測定方法（S.21～S.30）、光強度変化測定方法（S.31～S.35、S.41～S.48、S.51～S.58、S.61～S.68）の 3 通りに大別される。

【0031】

単一部位測定方法は、外から見える虫歯部位又は虫歯と疑われる部位や、特に歯の隙間や噛み合わせ等のような見えない虫歯部位の虫歯の有無又はその虫歯の進行度合を検出する方法で、虫歯部位と思われる 1 箇所を 1 回以上測定する。対比測定方法は、外から見える虫歯部位又は虫歯と疑われる部位（単に「虫歯部位」とする）の虫歯の有無又はその虫歯の進行度合を検出する方法で、同一の歯における虫歯部位と健常部位の 2 箇所をそれぞれ独立して測定する。

光強度変化測定方法は、外から見えるか否かにかかわらず虫歯の有無及びその虫歯の進行度合の検出する方法で、紫外線の照射光強度を変化させつつ、虫歯部位と思われる同一箇所を複数回測定する。

【0032】

具体的には、図 3 に示すように、CPU 15 が、測定するか否かを表示装置 5

に表示させ (S1)、測定する場合には、虫歯検出プログラムの測定部位数選択機能に基づき、測定部位の数が「1」であるか否かを表示させる (S2)。

測定部位の数が「1」でない場合には、「対比測定方法」の処理に分岐し (分岐B、詳細後述)、測定部位の数が「1」である場合には、CPU15が、虫歯検出プログラムの光強度変化選択機能に基づき、光源の光強度を変化させるか否かを表示させる (S3)。

【0033】

光源の光強度を変化させる場合には、「光強度変化測定方法」の処理に分岐し (分岐C、詳細後述)、光源の光強度を変化させない場合には、CPU15が、「単一部位測定方法」の処理を実行する。

【0034】

ここで、単一部位測定方法においては、まず、測定者が、紫外線照射装置2を用いて、対象部位に照射し、蛍光受光装置3を用いて、歯からの蛍光より情報を得る。

次いで、CPU15が、虫歯検出プログラムのデータ取込機能に基づき、光デバイスからの情報を、入出力制御部11によりAD変換されたデジタル信号として内部メモリ16に取り込み、そのデジタル信号を、第1～第3波長帯毎の輝度 (蛍光強度) R、B、Gを内部メモリ16に記憶する (S4)。

【0035】

ここに、第1波長帯 (赤色相当) は、可視光領域 (380～810nm) において、波長が、550～810nmであることが好ましく、より好ましくは、580～680nmである。

また、第2波長帯 (青色相当) は、可視光領域において、波長が、380～550nmであることが好ましく、より好ましくは、400～500nmである。

さらに、第3波長帯 (緑色相当) は、可視光領域において、波長が、450～650nmであることが好ましく、より好ましくは、500～600nmである。

。

【0036】

その後、図4に示すように、CPU15が、虫歯検出プログラムの虫歯度合演

算機能に基づき、輝度 R、B、G を求め、その値を次の式 (1) に従って虫歯度合 CD_1 を演算する (S11)。

$$CD_1 = R/B \cdots \text{式 (1)}$$

この虫歯度合 CD_1 は、虫歯の進行に伴って、虫歯部位につき、輝度 R が増加する一方で、輝度 B、G が減少するという特性を利用し、虫歯の進行度合を定量的な増加関数として表したものである。

【0037】

ここでは、輝度 B の絶対的強度が輝度 G より大きいため、外光等の影響を受けにくくノイズが小さいため、虫歯度合 CD_1 をより高い精度で算出できる。また、輝度 B の代わりに輝度 G を用いて次の式 (1.2) に従って虫歯度合 CD_{12} を演算してもよい。

$$CD_{12} = R/G \cdots \text{式 (1.2)}$$

【0038】

S12～S19 の処理は、CPU15 が虫歯検出プログラムの虫歯有無・進行度合判断機能に基づいて実行する処理である。

S12 では、虫歯度合 CD_1 を、下限しきい値 E_1 と比較する。ここに、「下限しきい値」とは、健常歯と虫歯（特に初期虫歯、以下同じ）とを判別するための値で、紫外線照射装置 2 における照射光強度、照射面積等の条件や、蛍光受光装置 3 における光路長、受光素子の感度等の条件によって異なり、虫歯検出システム 1 におけるキャリブレーションによって決定される。

【0039】

虫歯度合 CD_1 が、下限しきい値 E_1 より小さい、又は下限しきい値 E_1 と等しい場合には、健常歯である旨（解析データ）を表示してメイン処理の S1 に戻り (S18、19)、虫歯度合 CD_1 が下限しきい値 E_1 より大きい場合には、虫歯である旨（解析データ）を表示する (S13)。

【0040】

S14 では、虫歯度合 CD_1 を、上限しきい値 F_1 と比較する。ここに、「上限しきい値」とは、軽度の虫歯と重度の虫歯とを判別するための値で、上記下限しきい値と同様に決定される。

【0041】

虫歯度合 CD_1 が上限しきい値 F_1 より小さい場合には、軽度の初期虫歯である旨（解析データ）を表示し（S15）、虫歯度合 CD_1 が、上限しきい値 F_1 より大きい、又は下限しきい値 F_1 と等しい場合には、重度の初期虫歯である旨（解析データ）を表示し（S16）、メイン処理のS1に戻る（S17）。

【0042】

上記S2において、測定部位の数が「1」でない場合には、CPUが、「対比測定方法」の処理を実行する。

ここで、対比測定方法においては、まず、測定者が、紫外線照射装置2を用いて、紫外線を、同一の歯において、虫歯部位（虫歯と疑われる部位）と、その近傍の健常部位とにそれぞれ照射し、蛍光受光装置3を用いて、虫歯部位の蛍光から第1情報を得ると共に、健常部位の蛍光から第2情報を得る。

【0043】

次いで、図5に示すように、CPU15が、虫歯検出プログラムの画像取込機能に基づき、光デバイスからの第1、第2情報を、それぞれ、入出力制御部11によりAD変換されたデジタル信号として内部メモリに取り込み、それぞれのデジタル信号を、虫歯検出プログラムの3色分割機能に基づき、第1～第3波長帯毎に分解した、虫歯部位の輝度（ R_c 、 B_c 、 G_c ）、健常部位の輝度（ R_n 、 B_n 、 G_n ）を、それぞれ内部メモリ16に記憶する（S21）。

【0044】

その後、CPU15が、虫歯検出プログラムの虫歯度合演算機能に基づき、虫歯部位の輝度（ R_c 、 B_c 、 G_c ）、及び健常部位の輝度（ R_n 、 B_n 、 G_n ）のそれぞれの平均値を求め、それぞれの平均値を次の式（2）に従って虫歯度合 CD_2 を演算する（S22）。

$$CD_2 = |R_n - R_c| \times |B_n - B_c| \cdots \text{式 (2)}$$

【0045】

この虫歯度合 CD_2 は、虫歯の進行に伴って、虫歯部位の輝度 R_c が健常部位の輝度 R_n より大きくなり、かつ、虫歯部位の輝度 B_c 、 G_c が健常部位の輝度 B_n 、 G_n より小さくなるという特性を利用し、虫歯の進行度合を定量的な増加関数と

して表したものである。

【0046】

ここでは、輝度Bの絶対的強度が輝度Gより大きいため、外光等の影響を受けにくくノイズが小さいため、虫歯度合CD₁の精度を高める観点から、輝度Gを用いていないが、単に輝度Rとの比較の観点からでは、輝度Bの代わりに輝度Gを用いて次の式(2.2)に従って虫歯度合CD₂₂を演算したり、輝度Bと共に輝度Gを用いて次の式(2.3)に従って虫歯度合CD₂₃を演算してもよい。

$$CD_{22} = |R_n - R_c| \times |G_n - G_c| \cdots \text{式(2.2)}$$

$$CD_{23} = |R_n - R_c| \times \{|B_n - B_c| + |G_n - G_c|\} \cdots \text{式(2.3)}$$

【0047】

S23～S30の処理は、CPU15が虫歯検出プログラムの虫歯有無・進行度合判断機能に基づいて実行する処理であり、上記S12～S19の処理とほぼ同様である。

【0048】

S23では、虫歯度合CD₂を、下限しきい値E₂と比較する。

虫歯度合CD₂が、下限しきい値E₂より小さい、又は下限しきい値E₂と等しい場合には、健常歯である旨を表示してメイン処理のS1に戻り(S29、S30)、虫歯度合CD₂が下限しきい値E₂より大きい場合には、虫歯である旨を表示する(S24)。

【0049】

S25では、虫歯度合CD₂を、上限しきい値F₂と比較する。

虫歯度合CD₂が上限しきい値F₂より小さい場合には、軽度の初期虫歯である旨を表示し(S26)、虫歯度合CD₂が、上限しきい値F₂より大きい、又は上限しきい値F₂と等しい場合には、重度の初期虫歯である旨を表示し(S27)、メイン処理のS1に戻る(S28)。

【0050】

上記S3において、光源の光強度を変化させる場合には、CPU15が、「光強度変化測定方法」の処理を実行する。

ここで、光強度変化測定方法においては、まず、測定者が、紫外線照射装置2

を用いて、光強度 U_1 、 U_2 ($U_1 > U_2$) を変化させた紫外線を、同一歯の同一部位にそれぞれ照射し、蛍光受光装置 3 を用いて、光強度 U_1 についての蛍光から第 1 情報を得ると共に、光強度 U_2 についての蛍光から第 2 情報を得る。

【0051】

次いで、図 6 に示すように、CPU 15 が、虫歯検出プログラムのデータ取込機能に基づき、光デバイスからの第 1、第 2 情報を、それぞれ、入出力制御部 1 により AD 変換されたデジタル信号として内部メモリ 16 に取り込み、それぞれのデジタル信号を、第 1～第 3 波長帯毎の光強度 U_1 についての輝度 (R_1 、 B_1 、 G_1)、光強度 U_2 についての輝度 (R_2 、 B_2 、 G_2) を、それぞれ内部メモリ 16 に記憶する (S31、S32)。光強度は 2 つに限定されるものではなく、2 つ以上であってもよい。

【0052】

その後、CPU 15 が、虫歯検出プログラムの虫歯有無・進行度合判断機能に基づき、光強度 U_1 の輝度 R_1 と、光強度 U_2 の輝度 R_2 との大小関係、すなわち、($R_1 - R_2$) の符号が「正 (+)」であるか否かを判断し (S33)、「正 (+)」の場合には、虫歯の可能性がある旨を表示し (S34)、「負 (-)」の場合には、健常歯である旨を表示してメイン処理の S1 に戻る (S35)。判別方法はこれに限らず、複数の輝度データと照射強度との相関関係を求め、その相関が「正」である場合は虫歯、「負」である場合は健常と判断する方法を用いてもよい。

【0053】

S33～S35 の処理は、虫歯部位については、輝度 R_2 が輝度 R_1 より小さくなる (紫外線照射強度に正の相関) のに対し、健常部位については、輝度 R_2 が輝度 R_1 より大きくなる (紫外線照射強度に負の相関) という特性を利用し、虫歯の進行度合を判断する前に、虫歯の有無を判断したものである。

【0054】

S34 に進んだ後の処理は、虫歯度合の演算処理の違いにより、虫歯度合 CD₃ の処理 (分岐 D₁、S41～S48)、虫歯度合 CD₄ の処理 (分岐 D₂、S51～S58)、虫歯度合 CD₅ の処理 (分岐 D₃、S61～S68) の 3 つに分岐す

る。

【0055】

図7に示すように、虫歯度合CD₃の処理においては、CPU15が、虫歯検出プログラムの虫歯度合演算機能に基づき、光強度U₁の輝度(R₁、B₁、G₁)、及び光強度U₂の輝度(R₂、B₂、G₂)のそれぞれの値を求め、それぞれの値を次の式(3)に従って虫歯度合CD₃を演算する(S41)。

$$CD_3 = (R_1/R_2) \times (B_1/B_2) \cdots \text{式(3)}$$

【0056】

この虫歯度合CD₃は、虫歯部位については、輝度R₂、B₂、G₂が、それぞれ、輝度R₁、B₁、G₁より小さくなるのに対し、健常部位については、輝度B₂、G₂が、それぞれ、輝度B₁、G₁より小さくなるものの、輝度R₂が輝度R₁より大きくなるという特性を利用し、虫歯の進行度合を関数として表したものである。

【0057】

S42～S48の処理は、CPU15が虫歯検出プログラムの虫歯有無・進行度合判断機能に基づいて実行する処理であり、上記S23～S30の処理とはほぼ同様である。

S42では、虫歯度合CD₂を、上限しきい値F₃と比較する。虫歯度合CD₃が、上限しきい値F₃より大きい、又は上限しきい値F₃と等しい場合には、健常歯である旨を表示してメイン処理のS1に戻り(S47、48)、虫歯度合CD₃が、上限しきい値F₃より小さい場合には、S43に進む。

【0058】

S43では、虫歯度合CD₃を、下限しきい値E₃と比較する。虫歯度合CD₃が下限しきい値E₃より大きい場合には、軽度の初期虫歯である旨を表示し(S44)、虫歯度合CD₂が、下限しきい値E₃より大きい、又は下限しきい値E₃と等しい場合には、重度の初期虫歯である旨を表示し(S45)、メイン処理のS1に戻る(S46)。

【0059】

図7に示すように、虫歯度合CD₄の処理においては、上記虫歯度合CD₃の処

理の比較した場合、S51の処理のみが異なる。

S51では、光強度 U_1 の輝度(R_1 、 B_1 、 G_1)、及び光強度 U_2 の輝度(R_2 、 B_2 、 G_2)のそれぞれの値を次の式(4)に従って虫歯度合 CD_4 を演算する

。

$$CD_3 = (R_1/R_2) \times (G_1/G_2) \cdots \text{式(4)}$$

その他の処理は、上記同様であるので説明を省略する。

【0060】

図8に示すように、虫歯度合 CD_5 の処理においては、上記虫歯度合 CD_3 の処理の比較した場合、S61、S62、S63の処理のみが異なる。

S61では、光強度 U_1 の輝度(R_1 、 B_1 、 G_1)、及び光強度 U_2 の輝度(R_2 、 B_2 、 G_2)のそれぞれの値を次の式(5)に従って虫歯度合 CD_5 を演算する

。

$$CD_5 = (R_1/R_2) \times \{ (B_1/B_2) + (G_1/G_2) \} \cdots \text{式(5)}$$

S62では、上限しきい値 F_5 の設定の仕方が異なり、S63では、下限しきい値 E_5 の設定の仕方が異なる。その他の処理は、上記同様であるので説明を省略する。

【0061】

このような光強度変化測定方法においては、図示しないが、上記虫歯度合 CD_3 、 CD_4 、 CD_5 のほか、次の式(6)に従って虫歯度合 CD_6 を演算してもよい

。

$$CD_6 = (R_1/R_2) \times (B_1/B_2) \times (G_1/G_2) \cdots \text{式(6)}$$

【0062】

以上述べたように、本実施形態によれば、虫歯検出方法において、虫歯度合 CD を、エネルギー値の高低にわたる輝度 R 、 B 、 G に基づいて定量的な関数で表し、その虫歯度合 CD を下限しきい値 E 及び上限しきい値 F と比較することにより、細菌の侵襲を受けていない初期段階の虫歯について、「健常歯」、「軽度の虫歯」又は「重度の虫歯」の何れであるかの判断を感度よく正確に行うことができる。

【0063】

また、本実施形態によれば、虫歯検出方法を、1カ所から得られるデータを用いた測定方法、2カ所から得られるデータを対比する測定方法、光強度を変化させる測定方法の3つに大別できる、これらの方法を検出目的、計測部位により使い分ける、組み合わせることを可能にすることにより、効率的に精度良く虫歯の有無や虫歯の進行度合を検出できる。

【0064】

すなわち、1カ所から得られるデータを用いた測定方法にあつては、見えている部分のみならず歯の隙間や噛み合わせ等のような比較部位の得られにくい部位に用いることができ、その1箇所を測定するだけで、虫歯の有無や進行度合を検出できる。この測定方法は、得られた虫歯度合 CD_1 に基づいて虫歯の検出を瞬時に行える方法としてあらゆる部位の測定に有利である。

【0065】

また、2カ所から得られるデータを対比する測定方法にあつては、見えている虫歯部位又は虫歯と疑われる部位について、健常部位との比較において、2箇所測定することにより、虫歯の有無や進行度合を検出できる。この測定方法は、虫歯部位と健常部位との比較を考慮に入れた虫歯度合 CD_2 のみに基づいて瞬時に虫歯の進行度合を検出できる点で有利である。

【0066】

さらに、光強度変化測定方法にあつては、紫外線の光強度を変化させつつ、同一の虫歯部位について、少なくとも2回測定することにより、虫歯の進行度合を検出できる。この測定方法は、光強度の異なる輝度 R_1 、 R_2 の大小を比較するだけで虫歯の有無を瞬時に判断できる点や、光強度の変化により歯の深度に応じた、虫歯の進行度合を得られる点で有利である。

【0067】

本発明に係る虫歯検出方法は、虫歯検出プログラムを組み込んだ虫歯検出システム1を用いることにより、実現することができる。

本発明は、上記実施形態に限られることなく、種々の変更を行うことができる。

例えば、上記光強度測定方法においては、光強度を2種に変化させたが、これ

に限られず、光強度を 3 種以上に変化させ、このうち、任意の 2 つの情報（蛍光データ）を取り込み、虫歯度合 $CD_3 \sim CD_6$ を演算してもよい。

また、虫歯度合 $CD_3 \sim CD_6$ を演算するにあたって、光強度の異なる輝度の比（ R_1/R_2 ）等を用いたが、この代わりに、輝度の傾きや相関関係を用いることもできる。

【0068】

さらに、虫歯度合 CD と、下限しきい値 E 及び上限しきい値 F との比較のほか、さらに、別のしきい値を加えることにより、重度と軽度との中間的な程度の中等度を示すこともできる。さらにまた、表示装置 5 に解析データとして、健全歯である旨等のデータのほか、虫歯度合 CD 自体を表示してもよく、このような解析データを出力装置 13 に出力してもよい。

【0069】

【実施例】

本発明者等は、現在のところ最も正確に虫歯の進行度合いを測定できる非特許文献 3 記載の方法と実施例 1～4 と比較例 1、2 との相関関係を求めることにより本発明に係る虫歯検出装置の検出精度を評価した。

【0070】

実験に用いた抜去歯は、表層が脱落してなく非外科的処置で回復可能な初期虫歯であるものを選んだ。これらの抜去歯は経験を積んだ歯科医師の目視により、ごく初期のもの（軽度）、ある程度進んだもの（中等度）、穴のあく寸前のもの（重度）の 3 種類に分類した。

【0071】

分類した抜去歯をまず本発明に係わる虫歯検出装置で計測した。その後、非特許文献 3 に記載の方法に基づき、前記の抜去歯をスライスし、マイクロ X 線写真撮影用の試料を作成した。実施例において、本発明に係る虫歯検出装置での計測結果と非特許文献 3 で示した方法で得られたミネラル減少率との相関係数を求めることにより本発明の虫歯検出装置の正確さを検証した。

【0072】

ミネラル減少率とは、虫歯の進行度合を示すもので、上記非特許文献 3 に従い

、マイクロX線写真を用いて、表面から深さ300ミクロンまでの部位についてコンピュータ画像解析により得られた値であり、健常部位のミネラル減少率を0%とし、溶けて歯のすべてが無くなった場合はミネラル減少率を100%とする。

【0073】

本実施例で用いた虫歯検出システム1及びこれを用いた虫歯検出方法について説明する。紫外線照射装置2として水銀ランプを用いた。この水銀ランプは、400nm以下の波長の紫外線を透過する可視光カットフィルタの装着により、i線を効率よく照射できるようにした。また、水銀ランプは、NDフィルタの装着により、光強度を U_1 ($=340\text{ mV/cm}^2$)、 U_2 ($=94\text{ mV/cm}^2$) の2段階に変化できるようにした。水銀ランプからの紫外線は、光ファイバにより直接歯に照射した。

【0074】

蛍光受光装置3としてカラーCCDを用いた。カラーCCDは、400nm以上の光を透過するUVカットフィルタの装着により、可視光領域の蛍光を撮像できるようにした。データはA/D変換を行い各16bitの輝度R、B、Gを得た。

【0075】

歯の測定部位及び光強度 U_1 、 U_2 を変化させた測定について説明する。

虫歯部位について、軽度部位L、中等度部位M、重度部位Hの3箇所を測定の対象にすると共に、それぞれの近傍（同一歯の中）にある健常部位について、健常部位（軽）L'、健常部位（中）M'、健常部位（重）H'の3箇所を測定の対象とした。

【0076】

それぞれの測定部位について、光強度 U_1 と、光強度 U_2 とに対応して、測定部位の記号に添字「1」、「2」を付す。例えば、「L₁」は、光強度 U_1 の紫外線を照射した、虫歯の軽度部位についての測定部位を示し、「H_{2,1}」は、光強度 U_1 、 U_2 の紫外線をそれぞれ照射した、虫歯の重度部位についての測定部位を示す。

本実施例において計測した、各測定部位毎の光強度 U_1 、 U_2 と輝度 R、B、G との関係を図 10 に示し、光強度 U_1 、 U_2 、輝度 R、B、G のデータ（最大 $2^{16} = 65536$ ）を表 1、表 2、表 3 に示した。

【0077】

【表 1】

測定部位		輝度R	輝度G	輝度B
L_1'	健常__340mV/cm ²	2965	36420	64597
L_2'	健常__94mV/cm ²	3408	13465	34529
L_1	軽度__340mV/cm ²	6345	23169	46429
L_2	軽度__94mV/cm ²	4860	7892	16608

【0078】

【表 2】

測定部位		輝度R	輝度G	輝度B
M_1'	健常__340mV/cm ²	871	31447	61884
M_2'	健常__94mV/cm ²	3561	12121	30485
M_1	軽度__340mV/cm ²	9039	28355	51510
M_2	軽度__94mV/cm ²	6432	11072	20589

【0079】

【表 3】

測定部位		輝度R	輝度G	輝度B
H_1'	健常__340mV/cm ²	284	40539	65279
H_2'	健常__94mV/cm ²	2797	16054	41853
H_1	軽度__340mV/cm ²	7571	16315	28406
H_2	軽度__94mV/cm ²	6525	7385	11810

【0080】

[実施例 1]

実施例 1 では、上記実施形態で示した虫歯検出方法の「1 カ所から得られるデータをを用いた測定方法」に従い、光強度 U_1 の測定部位 L_1 、 M_1 、 H_1 、 L_1' 、

M_1' 、 H_1' について、それぞれ、虫歯度合 CD_1 を算出し、虫歯度合 CD_1 とミネラル減少率とのそれぞれの相関係数を求めた。

【0081】

[比較例 1]

比較例 1 では、上記特許文献 2 に記載の技術に従い、紫外線の光強度を U_1 にし、測定部位 L_1 、 M_1 、 H_1 、 L_1' 、 M_1' 、 H_1' について計測した。カラー CCD に、620 nm 以上の光を透過するカットフィルタを装着し、カラー CCD が赤色蛍光のみの画像を取り込めるようにした。この画像をグレー画像に変換し、各測定部位毎に赤の輝度 (16 bit) を得た。赤の輝度とミネラル減少率とのそれぞれの相関係数を求めた。実施例 1 と比較例 1 の計測結果を表 4 に示す。

【0082】

【表 4】

			実施例 1 (絶対値)	比較例 1
測定部位		ミネラル 減少率(%)	虫歯度合 CD_1	赤の輝度
L_1	虫歯部位(軽度)	11.2	0.137	6345
M_1	虫歯部位(中等度)	25.6	0.166	9039
H_1	虫歯部位(重度)	68.9	0.267	7571
L_1'	健常部位	0	0.046	2965
M_1'	健常部位	0	0.014	871
H_1'	健常部位	0	0.004	284
ミネラル減少率との相関係数			0.934	0.702

【0083】

表 4 に示したように、ミネラル減少率が高い場合は虫歯が進行していることを意味している。本発明に係る実施例 1 の虫歯度合 CD_1 とミネラル減少率との相関係数が高く、虫歯度合 CD_1 は、虫歯の進行度合を客観的に定量値することができることが実証された。

虫歯の進行度合いを的確に捉えるためには、ミネラル減少率の値に応じて、赤の輝度も高くならなければならない。しかし、これに対し比較例 1 の場合は、虫

歯の中等度部位 M_1 と重度部位 H_1 の間で、赤の輝度の大小関係が逆転しており、必ずしも虫歯の進行度合とは一致していないため、虫歯の進行度合いの検出は困難である。

【0084】

[実施例2]

実施例2では、上記実施形態で示した虫歯検出方法の「対比測定方法」に従い、光強度 U_1 の測定部位(L_1 、 L_1')、(M_1 、 M_1')、(H_1 、 H_1')について、それぞれ、虫歯度合 CD_2 を算出し、虫歯度合 CD_2 とミネラル減少率とのそれぞれの相関係数を求めた。

【0085】

[比較例2]

比較例2では、上記特許文献1で示した従来技術に従い、紫外線の光強度を U_1 にし、測定部位(L_1 、 L_1')、(M_1 、 M_1')、(H_1 、 H_1')について計測した。カラーCCDに、520nm以上の光を透過するカットフィルタを装着し、カラーCCDが520～800nmの単色光の画像を取り込めるようにした。この画像をグレイ画像に変換し、各測定部位毎に、虫歯部位の輝度(16bit)と、健常部位の輝度(16bit)とを求め、その比を相対輝度として算出した。相対輝度とミネラル減少率とのそれぞれの相関係数を求めた。実施例2と比較例2の計測結果を表5に示す。

【0086】

【表5】

			実施例2 (相対比較)	比較例2
		ミネラル 減少率(%)	虫歯度合 CD_2	相対輝度
L_1 、 L_1'	軽度部位	11.2	6.14E+07	0.730
M_1 、 M_1'	中等度部位	25.6	8.47E+07	0.944
H_1 、 H_1'	重度部位	68.9	2.69E+08	0.493
ミネラル減少率との相関係数			0.990	-0.742

【0087】

表5から、虫歯度合 CD_2 とミネラル減少率との相関係数が高く、虫歯度合 CD_2 は、虫歯の進行度合について客観的な定量値で示すことができることが実証された。その一方、虫歯の中等度部位(M_1 、 M_1')と重度部位(H_1 、 H_1')の間で、相対輝度の大小関係が逆転しており、単色光の輝度のみでは、必ずしも虫歯の進行度合とは一致していないため、虫歯の進行度合いの検出は困難である。

【0088】

【実施例3】

実施例3では、上記実施形態で示した虫歯検出方法の「光強度変化測定方法」に従い、光強度 U_1 、 U_2 の測定部位 $L_{2,1}$ 、 $M_{2,1}$ 、 $H_{2,1}$ 、 $L_{2,1}'$ 、 $M_{2,1}'$ 、 $H_{2,1}'$ について、それぞれ、輝度変化(R_1-R_2)、(G_1-G_2)、(B_1-B_2)と、虫歯度合 CD_3 、 CD_4 とを演算し、虫歯度合 CD_3 、 CD_4 とミネラル減少率とのそれぞれの相関係数を求めた。実施例3の計測結果を表6、表7に示す。

【0089】

【表6】

測定部位		ミネラル 減少率(%)	輝度変化(340-94)		
			R_1-R_2	G_1-G_2	B_1-B_2
$L_{2,1}$	虫歯部位(軽度)	11.2	1485	15277	27821
$M_{2,1}$	虫歯部位(中等度)	25.6	2607	17283	30921
$H_{2,1}$	虫歯部位(重度)	68.9	1046	8931	16596
$L_{2,1}'$	健常部位	0	-443	22955	30068
$M_{2,1}'$	健常部位	0	-2690	19326	31399
$H_{2,1}'$	健常部位	0	-2514	24485	23426
ミネラル減少率との相関係数			0.557	-0.890	-0.739

【0090】

【表 7】

測定部位		ミネラル 減少率(%)	実施例3(強度変化)	
			虫歯度合CD ₃	虫歯度合CD ₄
L _{2,1}	軽度部位	11.2	3.649	3.833
M _{2,1}	中等度部位	25.6	3.516	3.599
H _{2,1}	重度部位	68.9	2.791	2.564
ミネラル減少率との相関係数			-0.995	-0.998

【0091】

表6から、輝度変化(R₁—R₂)の符号は、虫歯の有無を示す客観的な判断基準であることが明らかになった。また、表7から、虫歯度合CD₃、CD₄とミネラル減少率との相関係数が高く、虫歯度合CD₃、CD₄は、虫歯の進行度合について客観的な定量値で示すことができることが実証された。

【0092】

[実施例4]

実施例4では、上記実施例3と同様に、虫歯度合CD₅、CD₆とを演算し、虫歯度合CD₅、CD₆とミネラル減少率とのそれぞれの相関係数を求めた。
上記虫歯度合CD₃、CD₄が、輝度Rと、輝度B、Gの何れか一方との二者を演算対象にしているのに対し、虫歯度合CD₅、CD₆は、輝度R、B、Gの三者を演算対象にしている点異なる。実施例4の計測結果を表8に示す。

【0093】

【表 8】

			実施例4(強度変化)	
測定部位		ミネラル減少率(%)	虫歯度合CD ₅	虫歯度合CD ₆
L _{2,1}	軽度部位	11.2	7.48	10.71
M _{2,1}	中等度部位	25.6	7.11	9.00
H _{2,1}	重度部位	68.9	5.35	6.17
	ミネラル減少率との相関係数		-0.997	-0.990

【0094】

表 8 から、虫歯度合 CD₅、CD₆ とミネラル減少率との相関係数が高く、虫歯度合 CD₅、CD₆ は、虫歯の進行度合について客観的な定量値で示すことができることが実証された。

【0095】

【発明の効果】

本発明によれば、初期虫歯を感度良く正確に検出し、しかもその進行度合をも検出できる虫歯検出装置及び虫歯検出方法を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

カラー CCD のフィルタ特性を示す図である。

【図 2】

本実施形態の虫歯検出システムの概略構成を示す図である。

【図 3】

本実施形態の虫歯検出プログラムに基づいて虫歯検出処理（メイン処理及び単一部位測定処理）を示すフローチャートである。

【図 4】

本実施形態の虫歯検出プログラムに基づいて虫歯検出処理（単一部位測定処理、CD₁）を示すフローチャートである。

【図 5】

本実施形態の虫歯検出プログラムに基づいて虫歯検出処理（対比測定処理、CD₂）を示すフローチャートである。

【図 6】

本実施形態の虫歯検出プログラムに基づいて虫歯検出処理（光強度変化測定処理）を示すフローチャートである。

【図 7】

本実施形態の虫歯検出プログラムに基づいて虫歯検出処理（光強度変化測定処理、CD₃）を示すフローチャートである。

【図 8】

本実施形態の虫歯検出プログラムに基づいて虫歯検出処理（光強度変化測定処理、CD₄）を示すフローチャートである。

【図 9】

本実施形態の虫歯検出プログラムに基づいて虫歯検出処理（光強度変化測定処理、CD₅）を示すフローチャートである。

【図 10】

（a）～（f）は、実施例 1～4 に用いられる光強度及び輝度の関係を、（a）：健全歯部位（軽）、（b）：健全歯部位（中）、（c）：健全歯部位（重）、（d）：虫歯の軽度部位、（e）：虫歯の中等度部位、（f）：虫歯の重度部位について示すグラフである。

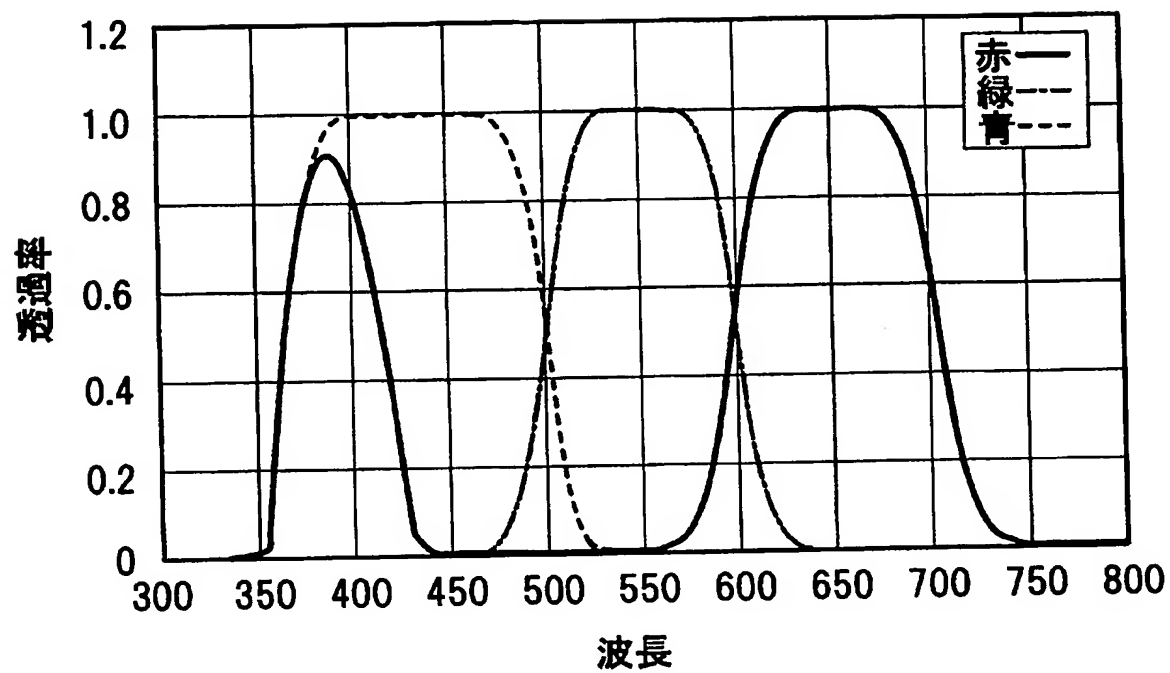
【符号の説明】

1	虫歯検出システム（虫歯検出装置）
2	紫外線照射装置（紫外線光源）
3	蛍光受光装置（蛍光受光部）
4	蛍光データ解析部
5	表示装置（解析データ表示部）
CD ₁ 、CD ₂ 、CD ₃ 、CD ₄ 、CD ₅	虫歯度合

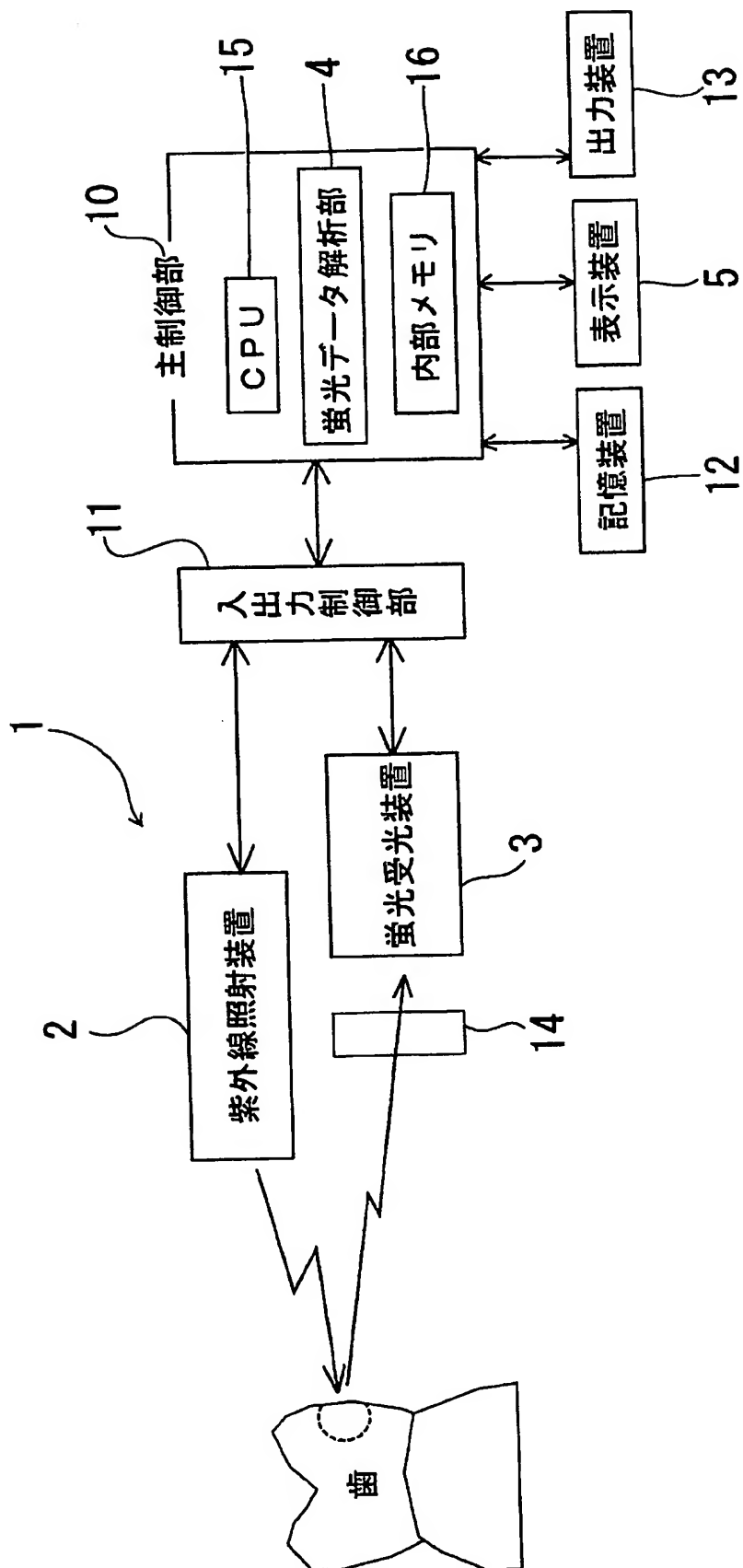
【書類名】

図面

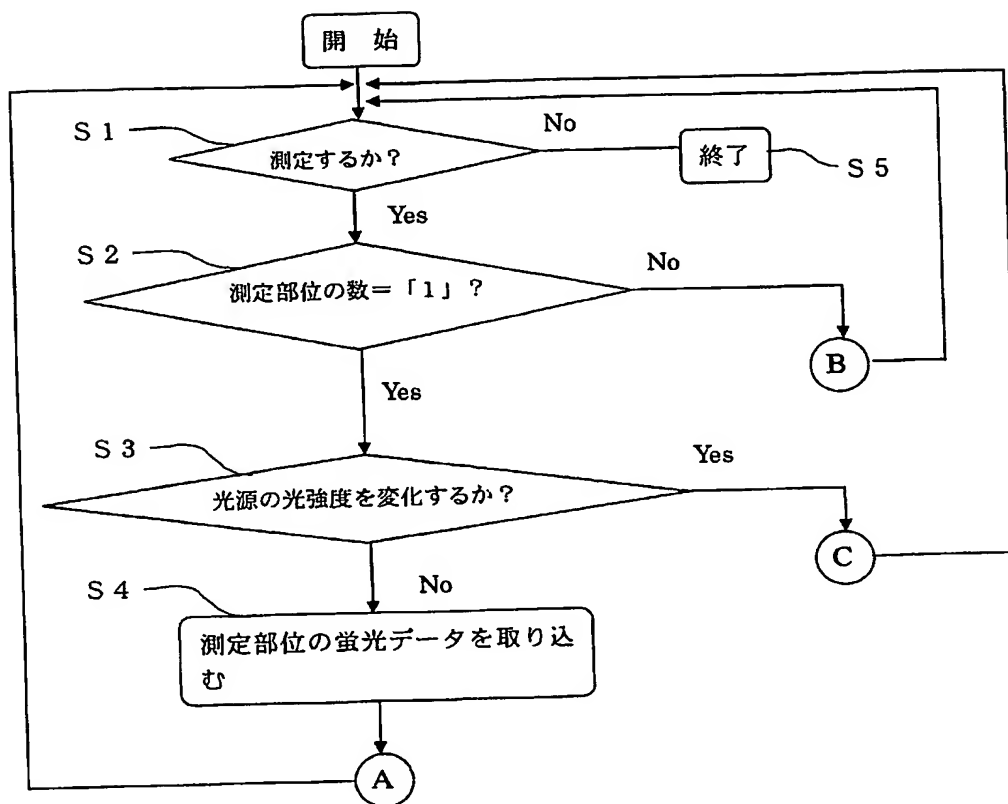
【図 1】



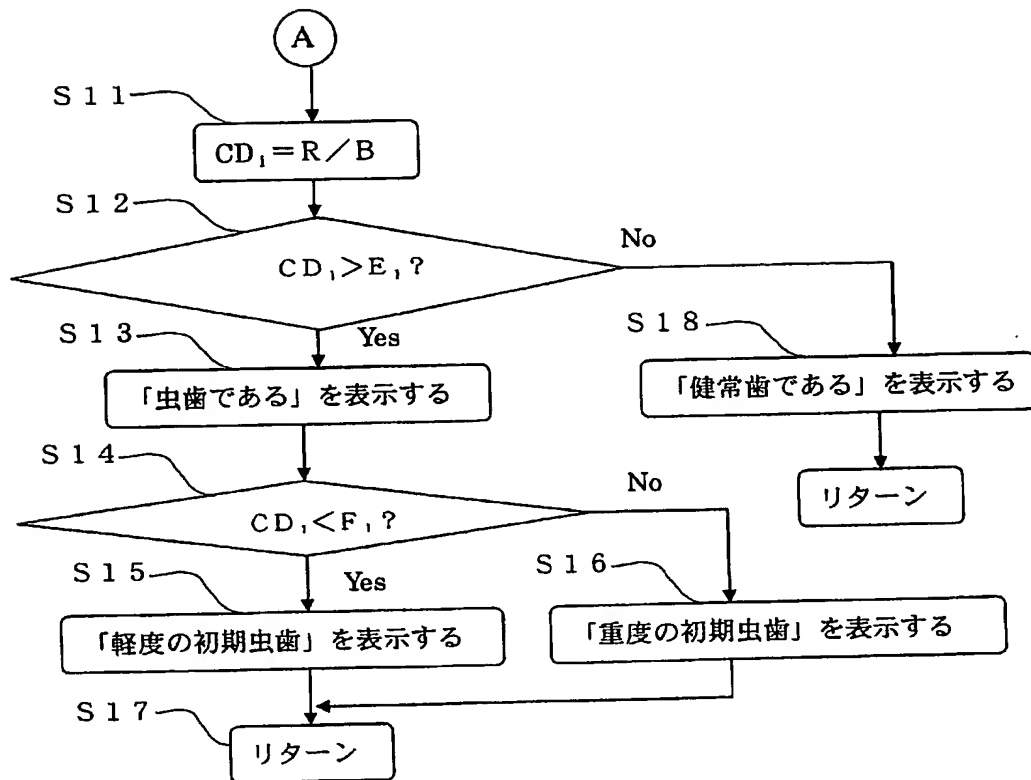
【図 2】



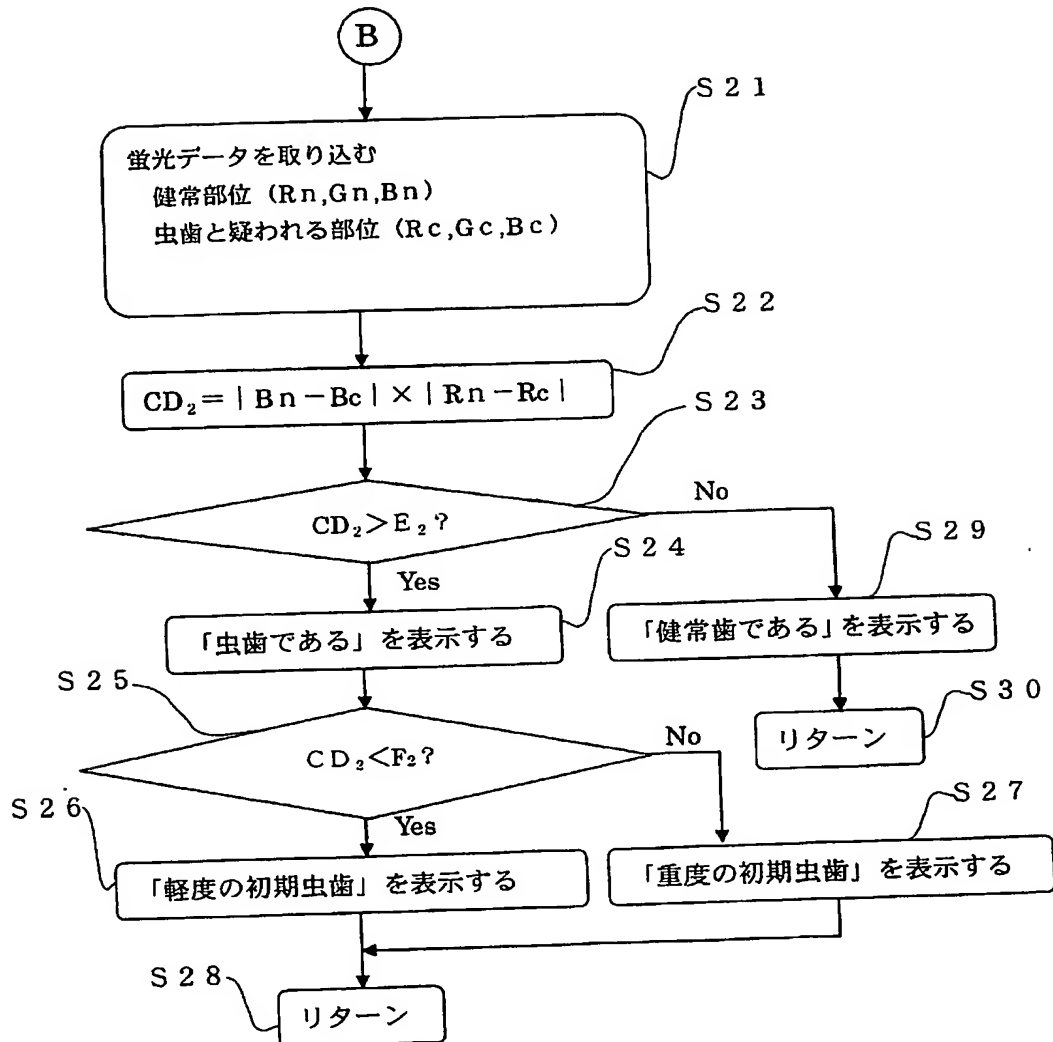
【図 3】



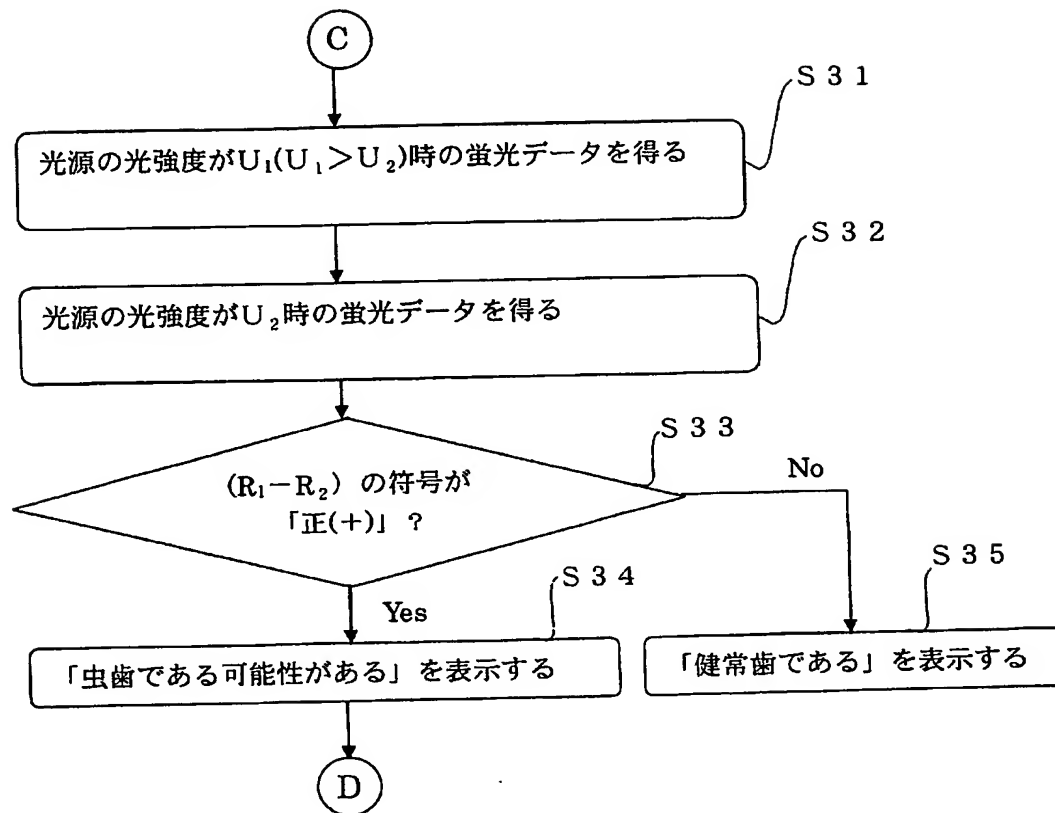
【図 4】



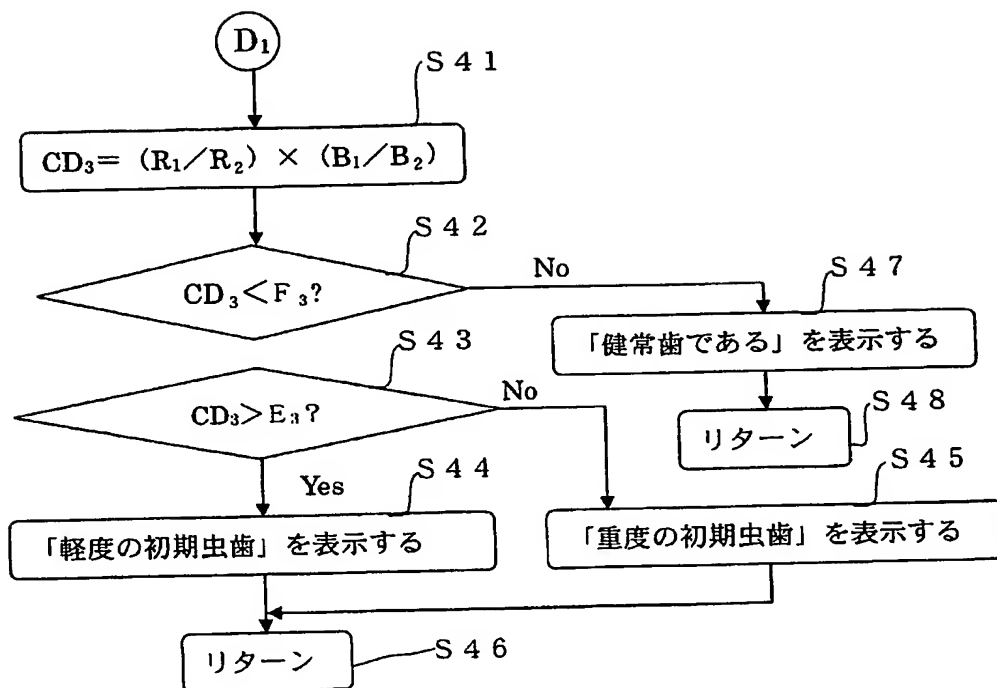
【図 5】



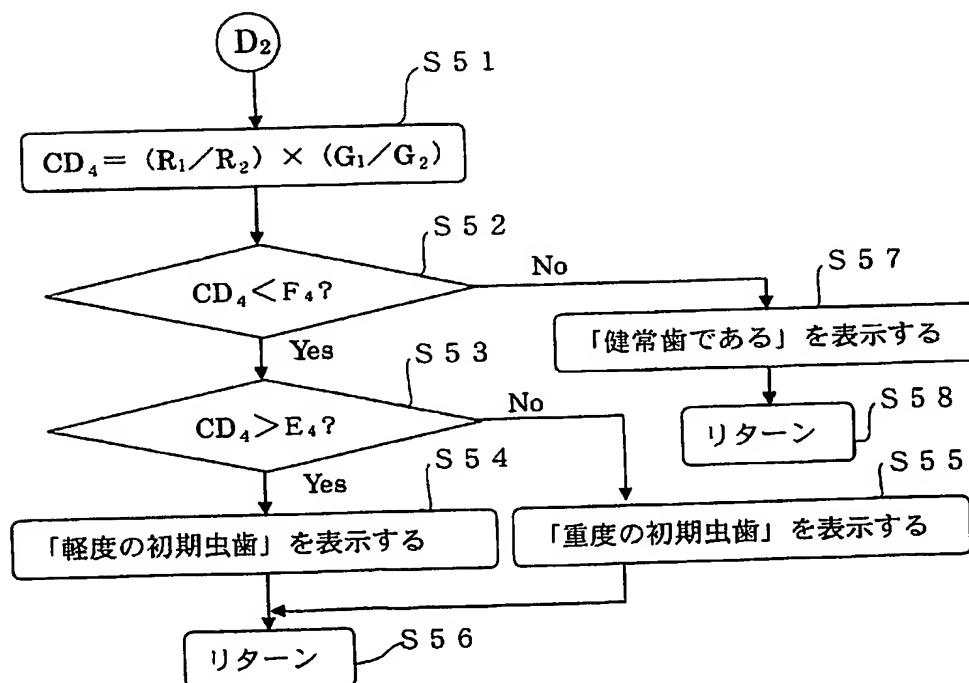
【図 6】



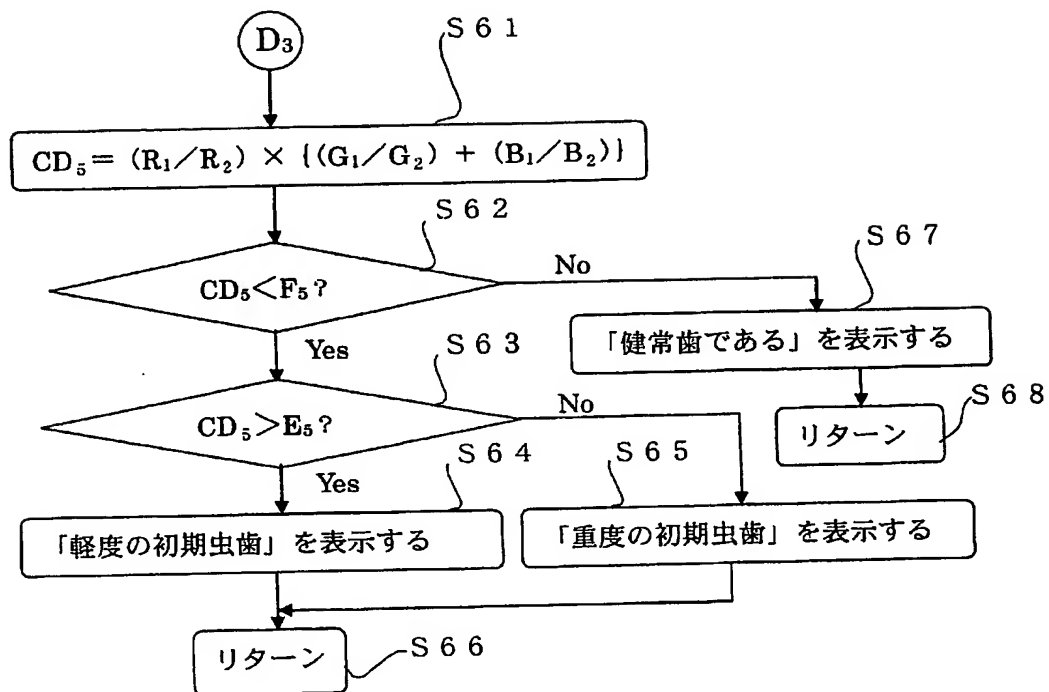
【図 7】



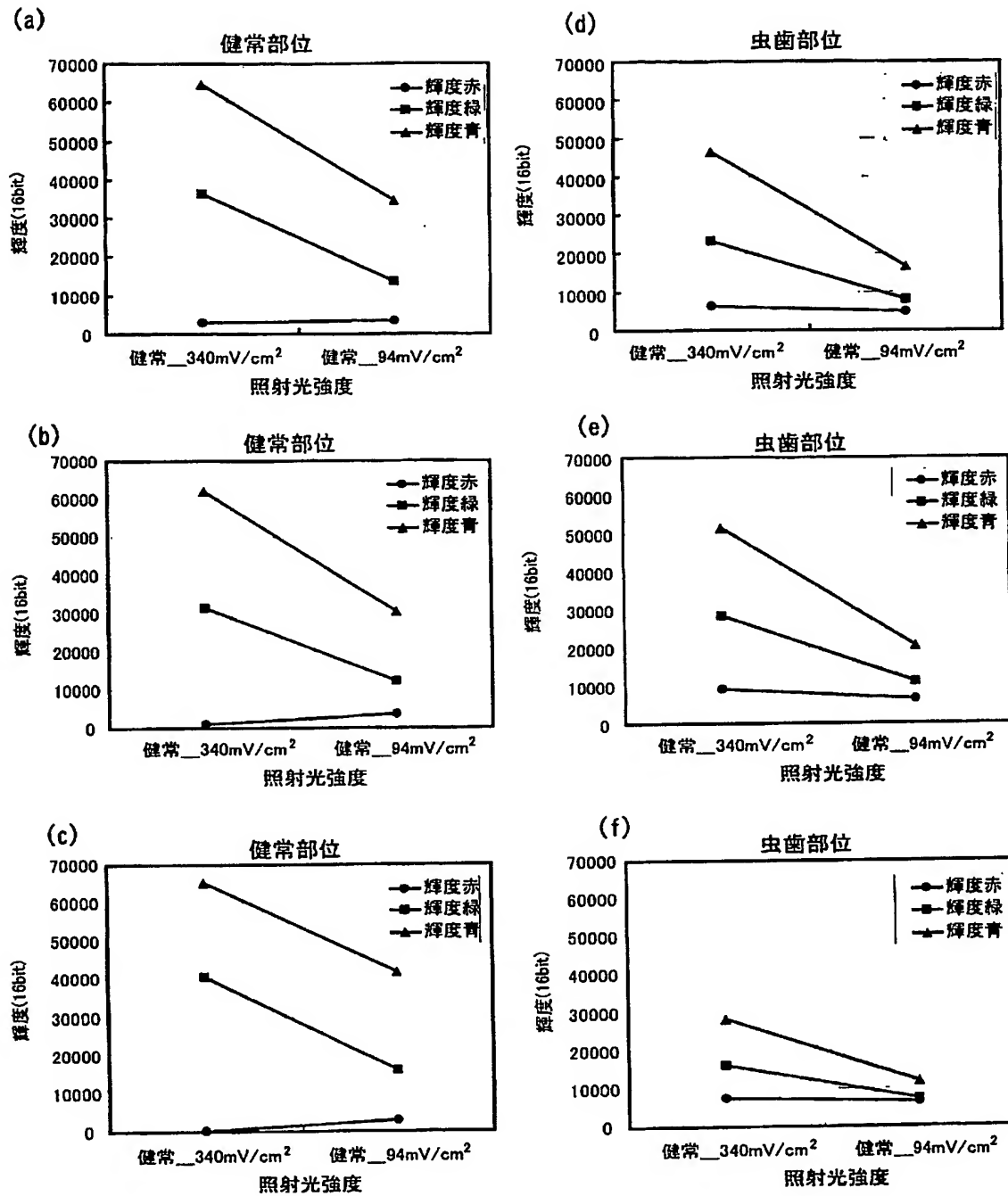
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 初期虫歯を感度良く正確に検出し、しかもその進行度合をも検出できる虫歯検出装置及び虫歯検出方法を提供する。

【解決手段】 本発明の虫歯検出システム 1 は、紫外線照射装置 2 と、紫外線照射装置 2 から照射された紫外線により歯からの蛍光を受光する蛍光受光装置 3 と、蛍光受光装置 3 から送信された蛍光データを解析する蛍光データ解析部 4 と、蛍光データ解析部 4 により解析された解析データを表示する表示装置 5 とを備えている。蛍光データ解析部 4 は、前記蛍光データを可視光領域の 2 以上の波長帯における蛍光強度に基づいて解析をするように構成されている。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 3 - 0 9 9 9 1 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 0 9 1 8]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都中央区日本橋茅場町 1 丁目 1 4 番 1 0 号

氏 名

花王株式会社